

26 2e1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**USO DEL SUELO COMO MEDIO DE
TRATAMIENTO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

Q U I M I C O

P R E S E N T A :

FRANCISCO MIRANDA MERIDA

MEXICO, D. F.

TEESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1990



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

INDICE	Pág.
1. RESUMEN.	1
2. INTRODUCCION	6
2.1 Antecedentes.	8
2.2 Objetivos y alcances.	9
3. FUNDAMENTOS TECNICOS	10
3.1 El suelo como sistema de tratamiento.	10
3.1.1 Prácticas en México	13
3.1.2 Prácticas en el extranjero.	17
3.1.3 Resultados obtenidos.	21
3.2 Movimiento de los contaminantes en el suelo	23
3.2.1 Contaminantes físicos	23
3.2.2 Contaminantes químicos.	24
3.3 Riesgos a la salud	27
3.3.1 Manejo de aguas residuales.	27
3.3.2 Riesgo de suelos agrícolas.	28
4. METODOLOGIA.	29
4.1 Programa experimental de los modelos.	29
4.2 Determinaciones químicas.	32
4.3 Régimen de riego y lámina aplicada.	34
4.4 Características del suelo (Perfil Estratigráfico)	35
4.5 Parámetro del suelo experimentado	36
4.6 Características del agua residual	36
4.7 Control operacional.	37

	Pag.
5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.	39
5.1 Parámetros físicos y químicos.	39
5.1.1 En agua infiltrada	39
5.1.1.1 Nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$).	40
5.1.1.2 Parámetro: Nitratos ($N-NO_3$).	42
5.1.1.3 Parámetro: Nitrógeno total (NTK)	44
5.1.1.4 Parámetro: Carbono Orgánico total (COT).	46
5.1.1.5 Parámetro: pH	48
5.1.2 En el perfil estratigráfico	51
5.1.2.1 Comportamiento del Nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$)	52
5.1.2.2 Comportamiento del Nitrógeno de nitratos ($N-NO_3$)	57
5.1.2.3 Comportamiento del Nitrógeno total Kjeldhal (NTK).	62
5.1.2.4 Comportamiento de la concentración de materia orgánica..	68
5.1.2.5 Comportamiento del pH.	75
5.1.2.6 Comportamiento del fósforo	76
5.1.2.7 Comportamiento del potasio	76
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFIA.	

1.0 RESUMEN

Al utilizar el suelo como sistema de tratamiento, el primer objetivo es tratar el agua residual y simultáneamente proteger los mantos freáticos. Los sistemas más utilizados de tratamiento de aguas residuales por aplicación al terreno son: infiltración lenta (irrigación); infiltración rápida y flujo superficial y en menor escala la aplicación a tierras húmedas y la aplicación subsuperficial.

Las propiedades físico-químicas del suelo como son: la textura, estructura e infiltración, pH, concentración de nutrientes, capacidad de adsorción y fijación de iones entre otras, determinan su capacidad de remoción, así como su habilidad para reaccionar en forma física y química con los constituyentes presentes en el agua de irrigación.

El uso de aguas residuales en riego agrícola genera una situación muy controvertida: por un lado, presenta aspectos benéficos tales como el incremento en el rendimiento de los cultivos debido al aporte de nutrientes; el amortiguamiento en la salinización del suelo debido al aporte de materia orgánica y otros beneficios indirectos, como el contar con una fuente de agua disponible en zonas con escasez.

Por otro lado presenta aspectos negativos tales como los efectos en la salud pública por el consumo y manejo de productos

agrícolas regados con aguas residuales debido a la presencia de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas.

El uso de aguas residuales para el riego de superficies agrícolas se ha practicado en México sobre todo en zonas áridas donde existen problemas de abastecimiento de agua.

El aprovechamiento más importante de agua residual para riego, se tiene en las zonas agrícolas del valle de Mezquital y de México, captando el agua residual generada en el área metropolitana de la Ciudad de México.

El movimiento en el suelo de los contaminantes químicos disueltos en el agua de infiltración, depende principalmente de la naturaleza del suelo. Los elementos químicos son primeramente removidos en la matriz del suelo por el proceso de intercambio iónico.

Las transformaciones del nitrógeno en el suelo están controladas por el efecto de la inundación y desecación, la desnitrificación es el principal mecanismo para remover el nitrógeno.

La mayor adsorción del fósforo en el suelo ocurre por infiltración-percolación en lugar de inundación, debido al mayor contacto entre el agua y el suelo.

En algunos suelos irrigados, los metales pesados (Pb, Cu, Ni, Cd, Zn, Co, Mn) se presentan en trazas o bien en alto

contenido de ellos.

Las diversas capas de materia orgánica en el suelo protegen a las plantas de los efectos tóxicos de los metales pesados. (White y Chaney, 1980).

El trabajo experimental de este estudio consistió en la determinación de parámetros químicos y físicos en el agua residual aplicada y en el suelo que conforma a los modelos.

Los 3 modelos fueron operados bajo condiciones controladas de lamina y frecuencia de riego.

El control del suelo se llevó a cabo mediante el muestreo antes y después de cada riego, así como análisis completos de los extractos de las condiciones iniciales, intermedias y finales de la experimentación, los puntos de muestreo definidos en los tres modelos son:

Para agua residual

- Tanque de almacenamiento (influyente), común a los tres modelos;
- Salida de cada modelo (efluentes)

Para suelo:

- De 0 a 30 cm de profundidad;
- De 30 a 60 cm de profundidad;
- De 60 a 90 cm de profundidad;

Dichos puntos se construyeron en cada uno de los modelos consistiendo en perforaciones.

Al pasar el agua por el suelo en estudio, la concentración de $N-NH_3$ disminuye considerablemente casi en todas las determinaciones.

Según los resultados obtenidos en nitratos ($N-NO_3$) indican un comportamiento poco uniforme del parámetro determinado. El promedio de concentración de todos los riegos, muestra un aumento para los tres modelos

La tendencia general de los valores para nitrógeno total (NTK), corresponden a una disminución en la concentración, en el efluente de los tres modelos con respecto al influente.

Los resultados obtenidos para carbón orgánico total (COT), se observa que el contenido de materia orgánica en el agua, permanece casi constante, entre influentes y efluentes.

El comportamiento de pH nos muestra que en el agua no es muy afectado al hacerse pasar por el suelo. En casi todas las determinaciones disminuye ligeramente.

El comportamiento del nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) en el suelo, se observa que en casi todas las determinaciones, la concentración de nitrógeno amoniacal, aumenta en todos los estratos después de los riegos y se vuelve a nivelar entre riego y riego.

Los resultados para nitrógeno de nitratos ($N-NO_3$) son poco uniformes; en algunos casos aumenta y en otros disminuye después del riego. Por esta razón, los promedios tal vez no sean muy representativos en el comportamiento general, sin embargo, nos dan una idea de la tendencia central.

El comportamiento del nitrógeno total kjeldhal (NTK), los resultados obtenidos antes y después del riego no varían considerablemente, sin embargo, muestra que en la mayor parte de las determinaciones la concentración de nitrógeno total disminuye después del riego. Esto es probable por la influencia de los microorganismos.

Los resultados obtenidos de materia orgánica (MO), en general presentan aumento después del riego. La evaluación nos indica que con los riegos se favorece la acumulación de materia orgánica.

Las determinaciones de pH, resultan sumamente homogéneas, no se registran variaciones importantes entre riego y riego ni entre los modelos analizados.

El comportamiento de fósforo (P) nos muestran un aumento en la concentración de fósforo en las condiciones finales, nos indican una tendencia a aumentar la cantidad de fósforo en los riegos.

Los resultados en el potasio (K) en las concentraciones finales son en general menores que en las condiciones iniciales.

2.0 INTRODUCCION

El desarrollo de la humanidad está cada vez más determinado por sus necesidades de agua y energía, por lo que el hombre ha ideado diferentes sistemas de aprovechamiento de las aguas, tanto en su aspecto energético como en aplicaciones agrícolas.

Las aguas residuales de origen urbano y de otros tipos, no han escapado a esa evolución y uno de los métodos prácticos de aprovechamiento es el de aplicarlas al terreno, que es una alternativa para el tratamiento y disposición del agua residual.

La aplicación de aguas residuales al suelo data desde 1559 en Polonia y Alemania; posteriormente, la práctica de aplicar desechos al suelo se extendió por toda Europa. Los primeros sistemas se construyeron para hacer más productiva la tierra, sin embargo, el número de granjas que utilizaba residuos declinó a principios del presente siglo debido principalmente a la urbani-

zación y al costo en el transporte de aguas residuales (Iskander, et al., 1980).

El reciente interés en utilizar el suelo como sistema de tratamiento es resultado del incremento en la contaminación de los cuerpos de agua naturales (ríos, lagos, lagunas, mares), como consecuencia de la descarga de las aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas. Actualmente existen varios factores que tienden a estimular esta práctica, entre los cuales se puede citar la necesidad de incrementar las cantidades de agua para riego.

Al mismo tiempo que se ha intensificado el aprovechamiento del terreno, se ha profundizado en las investigaciones tendientes a conocer el impacto que causa, así como el establecimiento de factores de seguridad, ya que en la aplicación de las aguas residuales al suelo se encadenan por lo menos tres aspectos de interés para la especie humana y su ambiente:

- 1) El estudio de las posibilidades de aplicación de ciertas formas de energía, por ejemplo, el uso de la materia orgánica y nutrientes presentes en las aguas residuales.
- 2) La búsqueda de sistemas de tratamiento de aguas residuales que resulten de bajo costo y tecnología simple.
- 3) El aprovechamiento del agua en usos tales como riego, que permiten liberar y ahorrar aguas claras.

Al utilizar el suelo como sistema de tratamiento, el primer

objetivo es tratar el agua residual y simultáneamente proteger los mantos freáticos. Aunque este método ofrece riesgos potenciales a la salud, por la introducción de compuestos químicos nocivos, en los que se incluyen metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, y por los microorganismos patógenos en los sembradíos, el sistema del suelo, aire, aguas subterráneas y posiblemente también en aguas superficiales. Sin embargo, estos riesgos pueden ser minimizados si se considera el método de aplicación del agua residual que puede ser una variable importante (Sorber, 1982), así como el tipo de suelo ya que de acuerdo a sus características podrá remover nitrógeno, metales pesados, fósforo, bacterias y virus mejor que un tratamiento convencional (Bower, 1976). Por otra parte existen dos puntos de vista con relación a la aplicación de aguas residuales al suelo; el primero considera el suelo, y el ecosistema relacionado con un componente de un sistema de tratamiento, y no exige un tratamiento previo a su aplicación en el terreno. El segundo considera esta práctica como un complemento al tratamiento, un medio de disposición final de las aguas residuales tratadas y un uso conveniente de las mismas. (SARH, 1982).

2.1 Antecedentes

La disposición y aprovechamiento extensivo de aguas residuales en riego agrícola en nuestro país, así como la necesidad de la elaboración y supervisión de normas que minimicen su efecto a la salud pública ha obligado a la Dirección de Proyectos de Trata

miento del Agua a elaborar el proyecto "Uso del suelo como medio de tratamiento", el cual determine la metodología para el uso del agua residual en la agricultura, a fin de minimizar los problemas sanitarios y de salud.

2.2 Objetivos y Alcances

Determinar la capacidad depuradora del suelo como medio de tratamiento cuando es sometido a flujo continuo e intermitente de agua residual.

Establecer las medidas preventivas para abatir los efectos sanitarios y de salud pública.

De acuerdo a los resultados obtenidos, establecer una metodología para el uso de aguas residuales.

3.0 FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1 El suelo como Sistema de Tratamiento

Los sistemas más utilizados de tratamiento de aguas residuales por aplicación al terreno son:

Infiltración lenta (irrigación); infiltración rápida y flujo superficial; y en menor escala la aplicación a tierras húmedas y la aplicación subsuperficial (EPA, 1976).

El uso del suelo como sistema de tratamiento de aguas residuales implica la eliminación del punto de descarga en las aguas superficiales; niveles de tratamiento que generalmente se alcanzan con tratamiento secundario; la posible recarga de acuíferos subterráneos; la disminución del consumo de fertilizantes, en el caso de infiltración lenta y una producción elevada de los cultivos. (SARH, 1982).

Asimismo la percolación de las aguas residuales a través del suelo propicia que se eliminen sólidos suspendidos; materia biodegradable y algunos microorganismos, haciendo el efluente adecuado para usos recreativos e irrigación de cultivos específicos; y con un tratamiento adicional puede dársele un uso municipal o industrial (D'Itri, F., 1981).

Por otra parte las propiedades físico-químicas del suelo como son: la textura, estructura e infiltración, pH, concentración de nutrientes, capacidad de adsorción y fijación de iones entre otras, determinan su capacidad de remoción, así como su habilidad para reaccionar en forma física y química con los constituyentes presentes en el agua de irrigación. El grado en el cual estos constituyentes adicionados serán lixiviados del suelo, o modificados para favorecer o inhibir su asimilación en los vegetales, depende en mucho de las características del suelo.

La remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo es alta, debido a la acción de los microorganismos, gasificación y aprovechamiento de nutrientes por los cultivos. La materia orgánica se remueve en los primeros centímetros del suelo por acción de microorganismos y su acumulación se favorece en zonas con precipitación abundante, baja temperatura y drenaje deficiente. La acumulación en el suelo es a su vez, función de la proporción de materia orgánica que se descomponga en el

suelo para su aprovechamiento.

El nitrógeno se absorbe por los cultivos y se favorece la nitrificación cuando el suelo presenta las características para efectuar dicho proceso. Las formas oxidadas del nitrógeno en el suelo son el resultado de la adición de las mismas como tales o de la oxidación de las formas orgánicas y amoniacales de diversas fuentes.

La remoción de fósforo se efectúa principalmente por adsorción y precipitación química, aunque los cultivos también juegan un papel importante en la remoción de este elemento (Barth, E. 1978).

Sin embargo las restricciones que tiene la técnica de utilizar el suelo como sistema de tratamiento son (D'Itri, F. 1981):

- a) Limitaciones sobre la disponibilidad de la información técnica y efectos a la salud;
- b) El suelo utilizado puede no ser adecuado para la remoción de elementos contaminantes;
- c) Riesgos de contaminación de suelos, principalmente por sales y compuestos tóxicos;
- d) Recirculación de compuestos tóxicos y microorganismos patógenos contenidos en el agua residual, al introducirse en las cadenas tróficas;

e) Riesgos de contaminación de aguas subterráneas.

Finalmente hay que tomar en cuenta las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, que son parámetros importantes a considerar en el diseño y operación de la infraestructura de tratamiento del agua residual, utilizando el suelo como sistema de tratamiento. Estas características varían ampliamente en los diferentes tipos de asentamientos (urbanos, rurales, e industriales), (Baxter, K. M., 1985).

3.1.1 Prácticas en México

La disposición de las aguas residuales, principalmente de origen municipal, en suelos se practica desde principios de siglo en nuestro país. Entre otros países que también utilizan este sistema de disposición se incluyen: Alemania, Australia, Polonia, Chile, Francia y España. Esto ha sido el resultado de la necesidad de disponer dichas aguas, evitando contaminar los cuerpos de agua receptores y aprovechar el agua para riego agrícola.

El uso del agua residual para riego agrícola en México, tiene su origen a partir de la construcción de una salida para las aguas residuales del Valle de México. En el año 1900 se comenzó a aprovechar estas aguas en la agricultura en la región del Valle del Mezquital, en Tula, estado de Hidalgo. Ampliándose a la fecha al Valle de Alfajayuca, Hgo. Las instituciones que han realizado estudios en las zonas aledañas

al área metropolitana de la Ciudad de México son: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) desde 1960; así como la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El uso de aguas residuales en riego agrícola genera una situación muy controvertida: por un lado presenta aspectos benéficos tales como el incremento en el rendimiento de los cultivos debido al aporte de nutrientes; el amortiguamiento en la salinización del suelo debido al aporte de materia orgánica y otros beneficios indirectos, como el contar con una fuente de agua disponible en zonas con escasez y el de tener un efecto de control de la contaminación del agua. Por otro lado presenta aspectos negativos tales como los efectos en la salud pública por el consumo y manejo de productos agrícolas regados con aguas residuales debidos a la presencia de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas, como metales pesados, fluoruros y compuestos fenólicos; la contaminación de acuíferos dentro de la influencia de la zona agrícola y la generación de suelos infértiles por salinización u obstrucciones causadas por la materia en suspensión y grasas y aceites. El uso de aguas residuales para el riego de superficies agrícolas se ha practicado en México sobre todo en zonas áridas donde existen problemas por el abastecimiento de agua entre los usos urbanos, industrial y agrícola.

El aprovechamiento más importante de agua residual para riego, se tiene en las zonas agrícolas de los Valles de Mezquital y Mé-

CUADRO 3.1.1 ZONAS AGRICOLAS DETECTADAS, QUE UTILIZAN O CON POSIBILIDAD DE USAR AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES PARA RIEGO

NUMERO Y NOMBRE DEL DISTRITO DE RIEGO	ENTIDAD FEDERATIVA	FUENTE DE AGUA RESIDUAL
03 TULA	HIDALGO	Area Metropolitana de la Ciudad de México, D.F. y Estado de México
88 CHICONAUTLA	MEXICO	Estado de México
100 ALFAJAYUCAN	HIDALGO	Ciudad Juárez, Chihuahua
09 CD. JUAREZ	CHIHUAHUA	Tulancingo, Hgo.
28 TULANCINGO	HIDALGO	Puebla, Pue. y San Martín Texmelucan, Pue.
30 VALSEQUILLO	PUEBLA	Mericali, B.C.N. y San Luis Río Colorado, Son.
14 RIO COLORADO	B.C.N. Y SONORA	Culiacán, Sin.
10 CULIACAN Y HUMAYA	SINALOA	Ciudad Obregón, Son.
41 RIO YAQUI	SONORA	Reynosa, Tams.
26 BAJO RIO SAN JUAN	TAMAULIPAS	Torreón, Coah., Gómez Palacio, Dgo. y Lerdo, Dgo.
17 REGION LAGUNERA	COAHUILA Y DURANGO	Salamanca, Gto., Irapuato, Gto. y Celaya, Gto.
11 ALTO RIO LERMA	GUANAJUATO	Cuautla, Mor. y Cuernavaca, Mor.
16 ESTADO DE MORELOS	MORELOS	Zamora, Mich.
61 ZAMORA	MICHOCAN	Sinaloa, Sin., Guasave, Sin. y Los Mochis, Sin.
75 VALLE DEL FUERTE	SINALOA	Córdoba, Ver. y Orizaba, Ver.
82 RIO BLANCO	VERACRUZ	Morelia, Mich.
20 MORELIA Y QUERETARO	MICHOCAN	

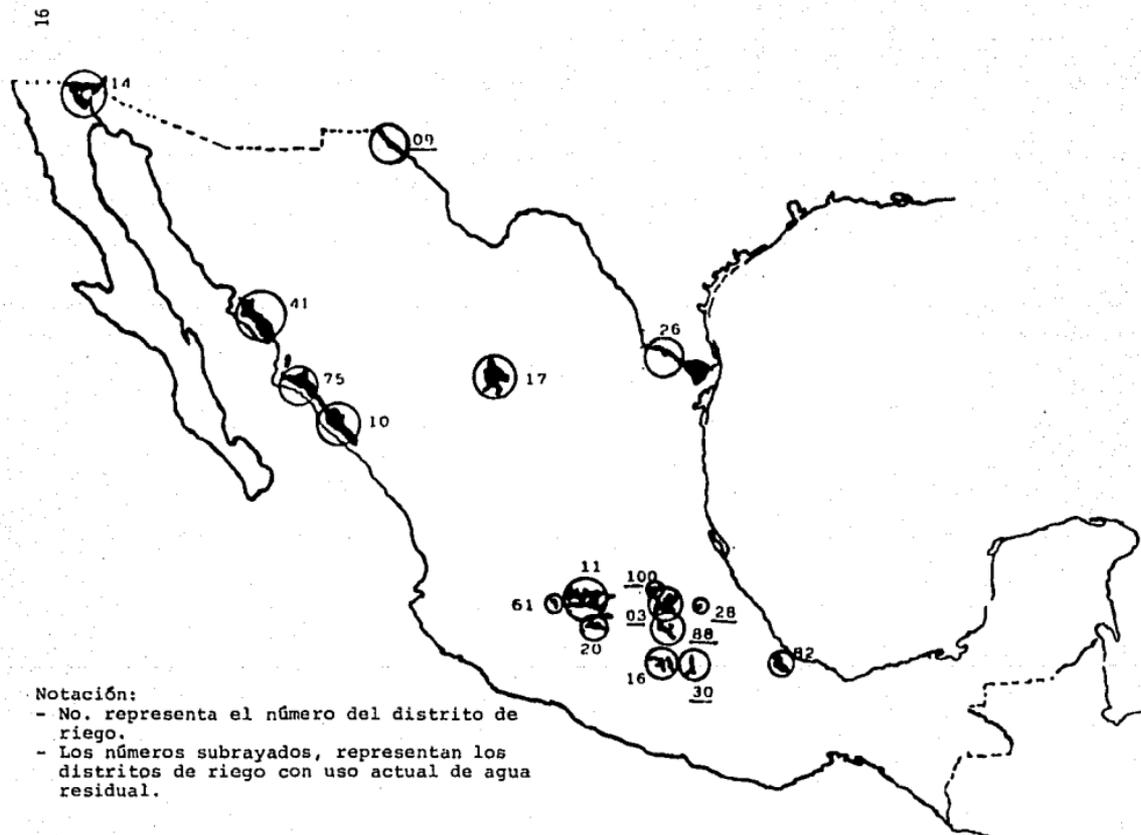


FIG 3.1.1 DISTRITOS DE RIEGO CON USO ACTUAL Y POTENCIAL DEL APROVECHAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

xico, captando el agua residual generada en el área Metropolitana de la Ciudad de México. Por otra parte 60 ciudades disponen sus aguas residuales en riego agrícola y sólo las descargas de 13 ciudades tienen tratamiento previo, involucrando generalmente pequeños volúmenes y tratamiento por lagunas de estabilización que son los más económicamente accesibles.

Las investigaciones en el país sobre evaluación en calidad de agua residual y sus efectos sobre suelos, cultivos y salud pública son incipientes por lo que no se tienen conclusiones determinantes, sin embargo, en las cuencas del Valle de México y Valle del Mezquital donde se ha regado con agua residual sin tratar desde hace casi 90 años se han llevado a cabo varios estudios de evaluación en calidad de agua residual y efectos en los suelos y cultivos, encontrándose problemas de contaminación de aguas subterráneas y contaminación de cultivos por sustancias tóxicas y bacterias, con los riesgos asociados en la afectación de la salud pública.

En el año 1981 la superficie correspondiente a zonas que usan efluentes de aguas residuales en operación, proyectos en construcción y áreas de riego en proyecto sumaban 85 094 Has., con una demanda de $1683 \text{ Mm}^3/\text{año}$, para 1986 la superficie considerada asciende a 157 531 Has., con una demanda de $2167 \text{ Mm}^3/\text{año}$. (Tejeda, Orta, 1985).

3.1.2 Prácticas en el Extranjero

En los siguientes países se utiliza el agua residual en riego: Polonia, Alemania, Israel, EUA, Chile, Francia, Bulgaria, Rusia, India, Hungría, España.

Cabe señalar que aunque existen reglamentaciones específicas para cada caso, en la Tabla 2.2 se presenta un resumen de la reglamentación de países Europeos.

En Polonia y Alemania, se tratan las aguas residuales antes de aplicarlas al suelo, aunque con tratamiento primario la mayor parte de ellas, pues se apoyan en que la práctica de utilizar efluentes de tratamiento secundario utilizado en Estados Unidos de Norteamérica, casi nunca se justifica económicamente ni bajo el punto de vista sanitario. En Alemania Federal se prohíbe el riego con aguas residuales de tenerías y rastros. En Francia, Bulgaria, Rusia, Israel, India y Hungría, se aplican una serie de Normas que restringen a ciertas condiciones y tipos de cultivo el riego con agua residual cruda.

En España, se efectúan experiencias de riego con aguas residuales urbanas crudas en zonas forestales, por otra parte en amplias zonas de ese país se riegan huertos familiares o de producción periurbana, para consumo comercial. Además, a pesar de que desde hace varias décadas se riega con agua residual procedentes de ingenios azucareros, no se han controlado sus efectos en suelos y vegetación, pues no se han realizado estudios previos y profundos en ningún caso.

TABLA 3.1.2 RESUMEN DE CIERTAS CARACTERISTICAS DE REGLAMENTACION EUROPEA

EFLUENTE	SISTEMA DE VERTIDO	TIPO DE COSECHA O ACTIVIDAD	NORMA
En general	Riego por aspersión	Ninguna Plantas horticolas de consumo crudo Pastizales en época de lluvias Vertido sobre partes verdes de vegetales de consumo humano	Prohibido Prohibido Prohibido
	Otros métodos	Vertido sobre frutos y horticolas durante el crecimiento Riego subsuperficial Plantaciones industriales y vegetales pienso	Prohibido Permitido Permitido
Aguas residuales de hospitales	En general	Ninguna	Prohibido
	Riego por aspersión Riegos de invierno	Ninguna Ninguna	Prohibido Permitidos
Aguas residuales	Aplicación directa	Oleaginosas, vegetales de uso industrial, ornamentales, vegetales-pienso fuera del periodo vegetativo	Permitido
Aguas residuales que han sufrido una sedimentación	Riego por aspersión sobre vegetales de consumo animal o humano	Ninguna	Prohibido
	Riego por surcos	Vegetales no consumidos en crudo	Permitido
	Aplicación directa	Horticolas para consumo en crudo	Prohibido
	Riego subsuperficial	Pastizales y horticolas en crudo Vertido 2 semanas antes de la recolección	Prohibido Permitido

TABLA 3.1.2 (CONTINUACION)

EFLUENTE	SISTEMA DE VERTIDO	TIPO DE COSECHA O ACTIVIDAD	NORMA
Aguas residuales que han recibido un tratamiento biológico	Aplicación directa	Cualquier tipo de cosecha Fresa Vertido de aguas residuales con Anthrax	Permitido Prohibido
	Riego por aspersión	Si hay viento fuerte Proximidad de aguas de consumo Frutales, patata temprana Sobre hortalizas	Prohibido Prohibido Prohibido

3.1.3 Resultados obtenidos

De las investigaciones en el país acerca de la aplicación del agua residual sobre suelos agrícolas, se han encontrado problemas de contaminación de aguas subterráneas y contaminación de cultivos por sustancias tóxicas y bacterias, con los riesgos asociados en la afectación de la salud pública principalmente, ya que existe la presencia en los suelos en un orden decreciente de boro, cobalto, cadmio, mercurio y detergentes, y se llegan a presentar problemas de salinidad en suelos con drenajes deficientes y bajos niveles freáticos.

Por otra parte no se han identificado grandes problemas de contaminación en los suelos, debido principalmente al contenido de materia orgánica del agua residual, al alto pH del suelo, a lixiviación por riego y a propiedades internas del suelo.

Con respecto al agua residual, si ésta es altamente salina y de sodicidad media puede llegar a afectar a suelos de textura fina. Y se han encontrado concentraciones altas de detergentes, metales pesados y boro, con valores límites, en mg/l, de 22.0 para detergentes, 5.0 para boro y 0.5, 0.6, 0.5, 1.0 y 1.5 para Hg, Cd, Ni, Cr y Pb respectivamente.

De acuerdo con los resultados de monitoreos físicos y químicos la contaminación por metales pesados se intensifica en orden creciente en agua, suelo y cultivo. Es por ello que puede exis-

tir disminución en el rendimiento de los cultivos.

En cambio, la cantidad de nutrientes presentes en agua residual utilizada en el riego, cubre en muchos casos los requerimientos de nutrientes de algunos cultivos, por ejemplo del maíz y de la alfalfa.

Finalmente se han encontrado concentraciones peligrosas de plaguicidas y otros tóxicos en la leche y animales de consumo humano, debidas quizá al riego con aguas residuales de las plantas forrajeras. Por lo que es necesario establecer un estricto control sanitario en lo que respecta al sistema agua-suelo-cultivo.

Los resultados obtenidos en otros países involucran los mismos problemas de contaminación aunque con más control sobre dicho problema, ya que las aguas residuales destinadas al riego reciben tratamientos previos, logrando extender el riego a más campos agrícolas.

En Santiago de Chile, con el uso de las aguas residuales sobre suelos de cultivo ligeramente alcalinos, se encontró que el principal contaminante es el Cromo, seguido por el Cobre. En Rodesia se registró que los pastos forrajeros regados con efluentes secundarios son incubadores ideales para una variedad de plagas y enfermedades. Los parásitos intestinales se convirtieron en problemas severos para el ganado que se alimentó de estos pastos, por lo que fué necesario implementar extensos programas

de salud.

En Werribee, Australia, el agua residual tratada por un proceso de sedimentación se aplica a los pastos. La tierra se riega por uno o dos días, después se deja secar de 5 a 8 días y sólo entonces se permite que el ganado entre a pastar.

Por otra parte, en Jerusalém se han iniciado estudios para evaluar la dispersión de microorganismos en aerosoles, ya que se han podido recoger bacterias entéricas a distancias de 100 a 350 m de un campo rociado con un efluente no desinfectado.

3.2 Movimientos de los contaminantes en el suelo

3.2.1 Contaminantes físicos

Generalmente el pH del suelo irrigado desciende en una unidad en todas las profundidades con respecto al suelo de control.

Los valores bajos de pH se deben principalmente al incremento de la solubilidad de los iones metálicos, cuando los niveles de metales son altos y el pH es cercano al neutro no existe ningún peligro de toxicidad, en cambio se presenta cuando el pH desciende alrededor de 5.5.

En los perfiles más profundos se puede encontrar un pH cercano o arriba de 6.5 Si se incrementa la movilidad de iones el pH es bajo pero apropiado y se mantendrá así si los valores de

iones son altos en las porciones más bajas del perfil.

Cuando la disminución del pH no es lo suficientemente significativa no propicia el incremento de la movilidad hacia abajo de iones específicos.

3.2.2 Contaminantes químicos

El movimiento en el suelo de los contaminantes químicos dispersos en el agua de infiltración, depende principalmente de la naturaleza del suelo. Los elementos químicos son primeramente removidos en la matriz del suelo por el proceso de intercambio iónico. Por consiguiente, la capacidad del suelo para la remoción química es proporcional a su capacidad de intercambio y al contenido de arcillas, a causa de su gran área superficial.

El intercambio catiónico es uno de los posibles mecanismos para la remoción de iones de metales pesados así como de compuestos orgánicos ionizados, y ocurre hasta que la capacidad de intercambio del suelo es superada.

- Nitrógeno

Las transformaciones del nitrógeno en el suelo están controladas por el efecto de la inundación y desecación. Si la frecuencia de inundación es más o menos corta (2 días) el suelo permanece lo suficientemente aeróbico para efectuar las conver-

siones esenciales del nitrógeno, con periodos de inundación más largos (2 semanas) el oxígeno en el suelo disminuye y la nitrificación no puede efectuarse, y el amonio del agua es adsorbido por el complejo intercambio catiónico existente en el suelo.

Por otra parte, la desnitrificación es el principal mecanismo para remover el nitrógeno, los efectos de inundación y desecación maximizan este proceso, sin embargo, la remoción de nitrógeno depende de varios factores que deben considerarse para cada sistema en particular. Dichos factores son: contenido de amonio y carbono de entrada al suelo, porcentaje de infiltración, capacidad de intercambio del suelo, y penetración de oxígeno durante la desecación del suelo.

Los periodos de inundación deben ser lo suficientemente largos para propiciar las condiciones anaeróbicas en el suelo, con lo cual se detiene la conversión de amonio a nitratos (nitrificación) y solo continúa la adsorción del amonio por la materia orgánica y la arcilla.

El porcentaje de infiltración puede ser controlado aplicando un nivel de agua apropiado al suelo y clima del lugar.

- Fósforo

Ryder y Pratt (1980) describen el mecanismo de la movilidad del fósforo en el suelo como una reacción de adsorción por las partículas superficiales del suelo con una estructura

de óxidos hidratados.

La mayor adsorción del fósforo en el suelo ocurre por infiltración-percolación en lugar de inundación, debido al mayor contacto entre el agua y el suelo. Esto implica que la eficiencia de remoción decrecerá conforme el suelo se vaya saturando y en menor escala ocurre la precipitación química del fósforo.

Por otra parte el mayor contenido de fósforo puede estar en los primeros 30 cm del suelo o en los segundos 30 cm de profundidad, esto de acuerdo a las características físicas y químicas del suelo.

-- Metales pesados

En algunos suelos irrigados, los metales pesados (Pb, Cu, Ni, Cd, Zn, Co, Mn y Ca), solo se presentan en trazas o bien con alto contenido de ellos, dependiendo del tipo de agua residual utilizada.

El mayor contenido se localiza en las capas superficiales, a 2.5 cm del suelo (Mc Person, 1979), pudiendo existir una diferencia a diferentes profundidades para cada elemento en particular, como sucede con el Cd y Ni. Ya que el Cd es medianamente móvil en suelos ácidos y la movilidad de éste se ve influenciada por las propiedades del suelo, principalmente pH y contenido de materia orgánica. Por lo tanto su movilidad se puede controlar previniendo condiciones ácidas en el suelo (Donald, 1984).

Las diversas capas de materia orgánica en el suelo protegen a las plantas de los efectos tóxicos de los metales pesados. (White y Chaney, 1980).

La concentración de metales se incrementa en el suelo después de cada aplicación de agua residual. Con respecto al mecanismo de movimiento de metales pesados en el suelo, Higgins, (1980), concluye que la precipitación, la filtración y la adsorción juegan una parte importante en el comportamiento de los metales. Mediante un modelo computacional es posible predecir el efecto de los metales introducidos al suelo vía agua residual el cual muestra que cuando un agua residual atraviesa una distancia corta a través de un suelo alcalino, el suelo es capaz de reducir altas concentraciones de metales.

Una valoración conductométrica implica la medida de la conductancia de la muestra después de sucesivas adiciones de reactivo, el punto final es determinado a partir de una representación de la conductancia como función del volumen de valorante añadido. Las medidas de conductividad son realizadas con un circuito de Wheatstone y una fuente de corriente alterna. Es preferible elegir un reactivo en el cual la conductancia iónica del ion no reactivo es menor que la del ion que se valora.

3.3 Riesgos a la salud

3.3.1 Manejo de aguas residuales

El uso del agua residual, sin un control adecuado, puede causar efectos severos sobre el ambiente y la salud humana.

Los mayores riesgos se presentan cuando el agua residual se trata para reuso en áreas domésticas, incluyendo el agua para beber o para la preparación de alimentos, porque los sistemas de tratamiento no son adecuados o no operan eficientemente. En un

lapso de tiempo muy corto, una población puede ser expuesta a daños por ingerir organismos patógenos; mientras que los efectos en el largo plazo pueden ser causados por ingestión de compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos contenidos en el agua. (Lund, 1976).

Efectos similares ocurren cuando el agua residual sin tratamiento adecuado se usa para recargar acuíferos, los cuales son la fuente de agua para algunas comunidades. (Reynolds, J. 1978).

3.3.2 Riego de suelos agrícolas

El uso de agua residual aplicada a terrenos agrícolas trae consigo la alteración de la estructura y permeabilidad del suelo propiciando que algunos elementos se concentren en él a niveles tales que provoquen daños a los cultivos o a los consumidores.

Asimismo, ya que parte del agua residual aplicada al suelo se percola a través de él, en ocasiones logra alcanzar a los acuíferos subterráneos, reduciendo así su calidad y por lo tanto sus posibles usos.

Recientemente, la mayoría de las regulaciones de salud pública han sido concertadas primeramente con bacterias, virus, protozoarios, huevos de helmintos y parásitos que pueden estar presentes en los efluentes.

4.0 METODOLOGIA

4.1 Programa experimental de los modelos

El trabajo experimental de este estudio consistió en la determinación de parámetros químicos y físicos en el agua residual aplicada y en el suelo que conforma a los modelos.

Fig 4.1.

Los tres modelos fueron operados bajo condiciones controladas de lámina y frecuencia de riego.

Es importante señalar que, a fin de tener un influente homogéneo común a los tres modelos, se empleó un tanque de almacenamiento donde se captó el agua residual para ser inmediatamente distribuída a los modelos.

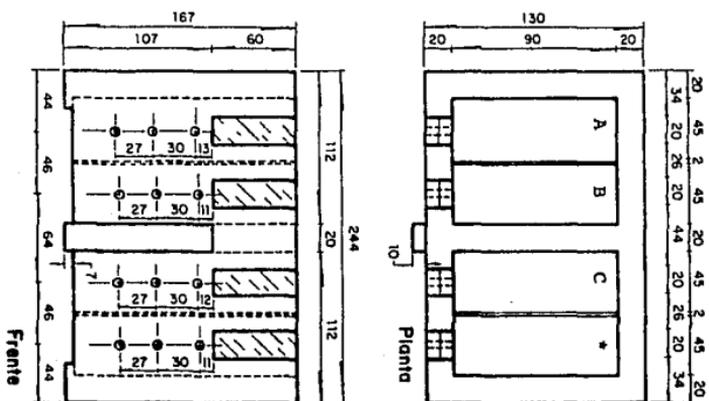
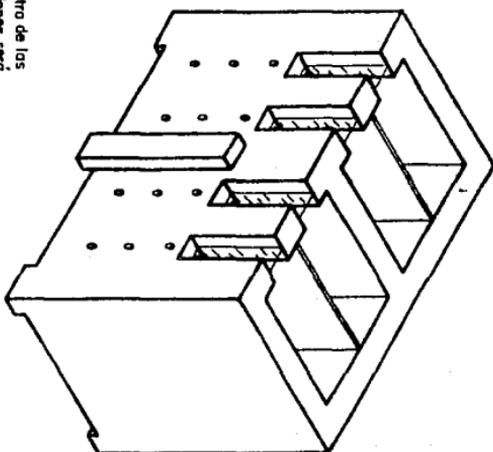


Fig. 4.1
* Esta cámara permaneció vacía durante la presente experimentación



Nota:
El diámetro de las perforaciones será en todos los casos de 5cm

Acotaciones, en cm
Esc: 1:33 1/3

Las diferencias en la ubicación de las perforaciones de nuestro depende del diferente nivel de la tierra en cada cámara

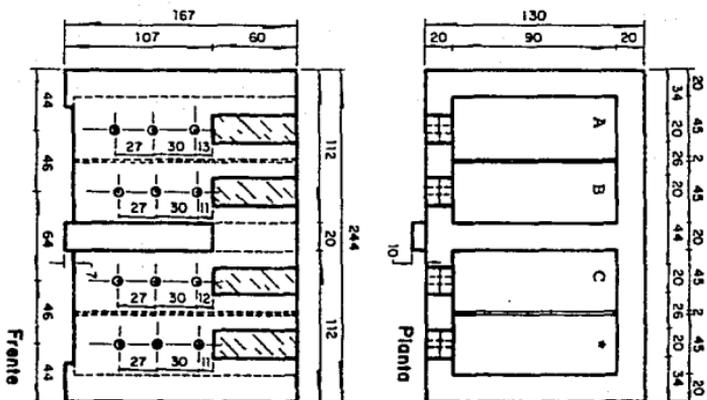


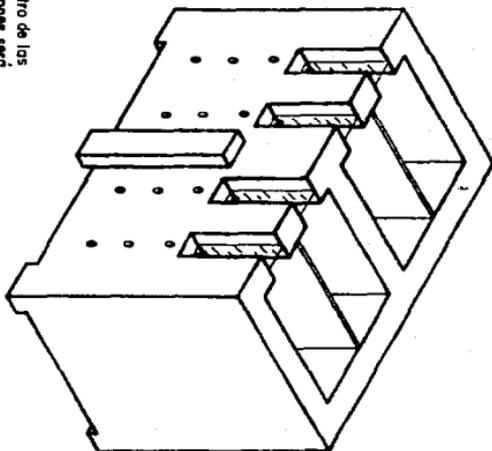
Fig. 4.1
* Esta cámara permanece vacía durante la presente experimentación

Nota:

El diámetro de las perforaciones será en todos los casos de 5cm

Las diferencias en la ubicación de las perforaciones de muestreo depende del diferente nivel de la tierra en cada cámara

Acotaciones, en cm
Esc: 1:33 1/3



Al inicio de la experimentación, los riegos se aplicaron quincenalmente en los tres modelos y a partir del tercer riego se aplicó en forma mensual al modelo II, esta modificación se llevó a cabo por solicitud y acuerdo con los patrocinadores.

El control del suelo se llevó a cabo, mediante el muestreo antes y después de cada riego. Así como análisis completos de los estratos de las condiciones iniciales, intermedias y finales de la experimentación.

Los muestreos se efectuaron en forma manual y los riegos se realizaron de 9:00 a 11:00 a.m. en todos los casos.

Los puntos de muestreo definidos en los tres modelos son:

Para agua residual:

Tanque de almacenamiento (influenta), común a los tres modelos;

Salida de cada modelo (efluentes).

Para suelo:

De 0 a 30 cm de profundidad;

De 30 a 60 cm de profundidad;

De 60 a 90 cm de profundidad.

dichos puntos se construyeron en cada uno de los modelos consistiendo en perforaciones, con tapón roscado removible.

En la Tabla 4.1 se presenta los programas de muestreo de las pruebas químicas realizadas durante el período de experimentación en los 3 modelos. Cabe mencionar que se ilustra hasta el 2o. riego, pero se continúan los análisis de suelo correspondientes a después y antes del riego.

4.2 Determinaciones químicas

En agua residual

Los procedimientos que se siguieron para las pruebas son los recomendados por Standard Methods (1980) en las secciones señaladas.

Carbono orgánico total	Sección 505	C. Método de oxidación
Nitrógeno amoniacal	Sección 417	Método por titulación
Nitrógeno de nitratos	Sección 418	Método por reducción con Cd.
Nitrógeno total	Sección 420	Método Macro-Kjeldhal
pH		Método electrométrico

En suelo

Se siguieron los procedimientos recomendados por Jackson (1982) y por la Subdirección de Agrología de SARH (1978).

TABLA 4.1. PROGRAMA DE MUESTREO Y ANALISIS QUIMICO

Condiciones Iniciales del suelo	9 muestras	N-NH ₄ ⁺ N-NO ₃ N-OR Fósforo Potasio pH	6 muestras	3 días	1 semana
		1er. Riego	4 muestras 3 efluentes 1 Influyente común de 3 modelos	1 día 1 día 1 día	Lunes Martes Miércoles
Análisis de agua	9 muestras	Muestreo DBO ₅ N-amoniacal N-torcal N-nitratos	1 día	Lunes	
		Muestreo pH Materia orgánica N-amoniacal N-nitratos N-torcal	Jueves Viernes Sábado		
Análisis de suelo después del riego	9 muestras	Muestreo pH N-amoniacal N-nitratos N-torcal Materia orgánica	1 día 1 día 1 día	Lunes Martes Miércoles	
		Muestreo DBO ₅ N-NH ₄ ⁺ N-OR N-nitratos	1 día 1 día 1 día	Lunes Martes Miércoles	
2o. Riego	4 muestras	Muestreo DBO ₅ N-NH ₄ ⁺ N-OR N-nitratos	1 día 1 día 1 día	Lunes Martes Miércoles	
		Análisis de agua			

Materia orgánica (M.O.)	Walkley - Black
Nitrógeno total (NTK)	Macro-Kjeldhal
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	Titulación
Nitrógeno de Nitratos (N-NO ₃)	Reducción con aleación devarda's
Fósforo	Colorimétrico
Potasio	Flamometría
pH	Electrométrico

4.3 Régimen de riego y lámina aplicada

A fin de contar con un tipo de flujo particular para cada uno de los 3 modelos que operaron se fijó el tamaño de la lámina aplicada así como la periodicidad de los riegos de acuerdo con las supervisiones de la Comisión Nacional del Agua de la SARH.

Por otra parte en cada modelo se colocó un tubo perforado para tener una distribución homogénea del agua residual sobre toda la superficie y abatir el efecto del chorro de agua sobre un punto fijo.

Para el modelo A el régimen de riego se realizó quincenalmente aplicando una lámina de agua residual de 10 cm de altura.

El modelo B inicialmente operó con el mismo régimen de riego, aplicando una lámina de 20 cm de altura, sin embargo, a partir del 5o. riego se aplicó en forma mensual.

El riego del modelo C se inició junto con el del modelo A aplicando una lámina de 20 cm cada 3er día. La metodología de operación fue la siguiente: se cierran las válvulas de efluentes y se abren las de influente.

Una vez alcanzado el tamaño de la lámina se abren las válvulas de efluente de cada modelo para desalojar el agua infiltrada y al mismo tiempo coleccionar las muestras correspondientes al efluente de cada uno.

4.4 Características del suelo (perfil estratigráfico)

Las características físicas y químicas de un suelo determinan el medio en que las raíces de los diversos cultivos se desarrollarán. El suelo está constituido por un complejo orgánico-mineral que tiene la habilidad de reaccionar en forma física y química con los constituyentes presentes en el agua de irrigación.

El grado en el cual estos constituyentes adicionados sean lixiviados del suelo o modificados para favorecer o inhibir su asimilación, depende de las características del suelo.

La capacidad de retención del suelo se relaciona primordialmente con su textura y de ella depende la cantidad de agua a aplicar en cada riego y por lo tanto puede ser condicionante en la sección del método de riego.

Así, al contenido de humedad obtenido en porcentaje de suelo seco se le denomina "Capacidad de campo" (CC), y se refiere al contenido de humedad óptimo logrado después del riego o de lluvias.

4.5 Parámetro del suelo experimentado

- Potencial Hidrógeno (pH)

Es importante señalar que el pH es un factor determinante en la solubilidad de varios elementos nutrientes. Los valores del suelo estudiado muestran variación del pH con tendencia a pasar de suelo normal a alcalino. Sin embargo, los valores de pH son menores a 8.4, lo cual se considera adecuado para la mayoría de los cultivos.

Cuando únicamente se disponga del pH es necesario un análisis especial para valores que se salgan del rango normal (6.4 a 7.8), en igual forma, cuando se detecten manchones blancos o negros ya que son indicadores de problemas de salinidad o sodicidad, respectivamente.

4.6 Características del agua residual

En general los valores promedio de los análisis físicos y

químicos que caracterizan el agua influente de la planta de tratamiento de C.U. se mantienen sin grandes cambios, sobre todo en lo que respecta a sólidos, nitrógeno amoniacal y fosfatos. El pH se mantiene en un rango de neutralidad. Por otra parte existen variaciones en los valores promedio del material orgánico como es el caso de la DQO y DBO_T, éstos se debe a que el influente es agua residual y descargas de facultades e institutos.

4.7 Control operacional

La continuidad de la operación es esencial para mantener las condiciones del programa experimental, por lo que fue necesario tener un control del volumen alimentado a cada modelo y la frecuencia del riego.

Para tener las condiciones de saturación e insaturación en el suelo, se estableció la frecuencia de alimentación, efectuándose en forma quincenal, mensual y cada veinticuatro horas para los modelos A, B y C, respectivamente.

Asimismo se aplicaron diferentes volúmenes de agua residual a fin de obtener la lámina de riego requerida en cada modelo.

A continuación se muestra en la Tabla 4.7 el esquema operacional implementado para los 3 modelos.

TABLA 4.7 ESQUEMA DE OPERACION

MODELO	DIMENSIONES (cm ²)	TIPO DE FILTRO	VOLUMEN ALIMENTADO	FRECUENCIA DE ALIMENTACION	MUESTRAS
A	45x90 = 4050	intermitente transitorio insaturado	Lámina mínima de 10 cm (40500 cm ³ = 40.5 l)	riego una vez cada 15 días	del influente y efluente de la tierra (en super- ficie a 23 y a 53 cm de profundidad)
B	45x90 = 4050	intermitente transitorio insaturado	Lámina de 20 cm (81000 cm ³ = 81.0 l) cada 30 días	1 vez por semana cada 30 días	del influente y efluente; de la tierra (en super- ficie, a 23 y a 53 cm de profundidad)
C	45x90 - 4050	continuo saturado	320 ml/min = 19.2 l/hora	cada 48 horas funciona en continuo por 24 horas	del influente y efluente; de la tierra (en super- ficie) a 23 y a 53 cm de profundidad)

5.0 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Con objeto de facilitar la interpretación de los resultados, en este capítulo se presentan tablas resumen, con datos de cada modelo y cada riego de los parámetros analizados.

5.1 Parámetros físicos y químicos

En esta sección, se presentan resultados de cada parámetro a lo largo de todos los riegos, de tal manera que se puede analizar el comportamiento de cada uno, en los tres modelos.

Al final de cada Tabla se indica la media de los valores determinados en todos los riegos, con la finalidad de presentar la tendencia general de cada modelo.

5.1.1 En agua infiltrada

Estos resultados son importantes, ya que permiten analizar el efecto del paso por el suelo de los distintos parámetros entre influente y efluente.

De acuerdo a las especificaciones de la propuesta, así como a la supervisión por parte de la Comisión Nacional de Agua de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, los parámetros analizados son:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitratos
- Nitrógeno total Kjeldhal
- Carbono orgánico total
- pH.

5.1.1.1 Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_3$)

Comportamiento del Parámetro

La Tabla 5.1 muestra que al pasar el agua por el suelo en estudio, la concentración de $N-NH_3$, disminuye considerablemente en todas las determinaciones, excepto en el séptimo riego, modelo C, en donde se atribuye a que la muestra analizada no fué representativa.

El promedio de concentraciones a lo largo de todos los riegos nos indica que el modelo en que se obtuvo mayor remoción, corresponde al modelo A, seguido del C, y finalmente del B.

TABLA 5.1 CONCENTRACION DE $N-NH_3$ en (mg/lit)

		1er. riego	2o. riego	3er. riego ^a	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{X}_0
DOLENTE											
T_p	alm.	33.61	26.4	10.53	3.47	3.47	10.98	1.68	11.31	8.96	12.27
EFLENTES											
	M	13.16	6.6	3.8	0.89	0.22	2.91	1.56	-	1.23	3.80
	X	9.8	8.5	3.6	-	0.22	-	-	3.36	-	5.10
	Y	10.78	10.39	3.6	0.44	0.22	4.93	2.8	-	2.12	6.41

^a A partir de esta fecha, los riegos para el modelo B se hicieron semanales

\bar{X}_0 = media del influente de los modelos experimentales

La Tabla 5.2 indica el porcentaje de remoción de $N-NH_3$ para cada modelo en todos los riegos. El análisis de dicha tabla reporta altos porcentajes de remoción, excepto para el séptimo riego en el que incluso el modelo C, aumenta la concentración de $N-NH_3$ a 66.67%. De acuerdo a la tendencia general en los demás riegos, se considera que este riego no es representativo.

De acuerdo a la medida el porcentaje de remoción mayor se tiene en el modelo B, seguido del A y por último el C. En los tres modelos, la media del porcentaje de remoción es superior al 50%.

El comportamiento de este parámetro es congruente con lo esperado teóricamente, ya que el nitrógeno amoniacal se convierte a nitratos por el efecto del paso por el suelo. Los microorganismos también juegan un papel importante.

TABLA 5-2 PORCIENTO DE REMOCION DE $N-NH_3$

	1er. riego	2o. riego	3er. riego	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{x}
MODELO										
A	60.84	75.00	63.91	74.25	93.66	73.50	7.14	—	86.27	66.83
B	70.84	67.80	65.81	—	93.66	—	—	70.29	—	73.68
C	67.93	60.84	65.81	87.37	93.66	55.10	66.63*	—	76.34	55.02

* % de aumento

5.1.1.2 Parámetro: Nitratos ($N-NO_3$)

Comportamiento del parámetro

Los resultados obtenidos en la Tabla 5.3 indican un comportamiento poco uniforme del parámetro determinado, ya que, aunque en la mayoría de las determinaciones se presenta aumento considerable en la concentración de $N-NO_3$ en los efluentes, también se observan disminuciones superiores al 40%.

El promedio de concentraciones de todos los riegos, muestra un aumento para los tres modelos; el mayor se obtuvo en el modelo C, seguido del B y finalmente el A.

TABLA 5.3 CONCENTRACION DE $H-NO_3$ en (mg/lit)

	1er. riego	2o. riego	3er. riego ^a	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{x}
INFLUYENTE										
T_p atm.	0.05	0.9	1.1	1.0	0.21	0.25	0.26	**	0.05	0.48
EFLUENTES										
W	0.4	1.5	0.45	0.4	0.92	0.75	1.04	-	0.09	0.74
X	0.52	1.5	0.40	-	0.99	-	-	**	-	0.85
Y	0.75	1.2	1.9	1.3	0.52	0.71	0.09	-	1.0	0.93

^a A partir de esta fecha, los riegos para el modelo B se hicieron manuales

** Valores no determinados

La Tabla 5.4 muestra el porcentaje de variación entre influente y efluente de los tres modelos para todos los riegos, con su respectiva media.

Como se puede observar, los porcentajes de aumentos, son muy variables, ya que en un mismo modelo (modelo C), se presentan valores extremos que van desde 30% a 1900%; esto se asocia directamente con el régimen de riego al cual se sometieron y a las condiciones climatológicas.

El modelo que reporta mayor porcentaje de aumento promedio es el modelo C, después el B y por último el A. Los valores son superiores al 200%

TABLA 5.4 PORCIENTO DE AUMENTO DE N-NO₃

	1er. riego	2o. riego	3er. riego ^a	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{X}
MODELO										
A	700	66.67	40.91*	40.00*	338.09	200	300	-	80	200.48
B	940	66.67	63.64*	-	371.43	-	-	**	-	328.61
C	1400	33.33	72.73	30	147.62	184	65.38*	-	1900	462.78

- A partir de este riego, los riegos para el modelo B se hicieron venuales
- * Por ciento de remoción.

5.1.1.3 Parámetro: Nitrógeno total (NTK)

Comportamiento del Parámetro

La tendencia general de los valores de la Tabla 3.5, corresponde a una disminución en la concentración de nitrógeno total en el efluente de los tres modelos con respecto al influente; sin embargo, los resultados del séptimo riego vuelven a discrepar con un aumento de concentración en el efluente. Ya que sólo es un riego discrepante, pueden no considerarse en la determinación del comportamiento.

En promedio, el modelo que presenta mayor disminución en la concentración de nitrógeno total, es el modelo A, después el C y el que menos disminuye es el B.

Para visualizar mejor los resultados, se presenta la Tabla 5.6 que contiene el porciento de remoción.

Con excepción del séptimo riego, todos los demás reportan disminuciones superiores al 23%.

TABLA 5.6 CONCENTRACION DE NTR en (mg/l)

	1er. riego	2o. riego	3er. riego	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
DEFLUENTE										
Tp. ala.	40.73	33.60	34	9.85	8.7	22.4	2.8	25.09	19.04	22.70
EFLUENTES										
W	26.39	15.1	18.26	5.68	4.7	10.19	3.91	-	11.20	11.92
E	23.03	17.0	17.74	-	3.8	-	-	14.45	-	15.20
V	24.01	16.3	18.16	7.5	4.67	11.13	4.03	-	10.61	12.03

* A partir de este, los riegos para el modelo B se hicieron mensuales

En el promedio de todos los riegos, se observa la mayor disminución para el modelo B con casi un 50% de remoción del nitrógeno total. Le sigue el modelo A y después el C con promedios de porciento de remoción casi iguales. Estos resultados son congruentes con lo esperado, ya que el modelo B, estuvo sometido a riego mensual lo que permite una mayor capacidad de retención de nitrógeno en el suelo, le sigue el modelo A que se regó cada quince días, y por último el modelo C que se mantuvo a régimen saturado, y por lo tanto se presenta colmatación en el suelo y menos retención.

TABLA 5.6 PORCIENTO DE REMOCION DE NTR

	1er. riego	2o. riego	3er. riego ^a	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
MODELO										
A	45.84	55.17	46.00	44.36	45.98	54.51	39.64*	-	41.18	36.67
B	52.74	49.52	47.82	-	56.32	-	-	42.42	-	49.70
C	50.73	51.60	46.58	23.86	48.62	50.31	43.93*	-	44.27	34.01

* A partir de esta fecha, los riegos para el modelo B se hicieron mensuales

* Por ciento de aumento

5.1.1.4 Parámetro: Carbono Orgánico Total (COT)

Comportamiento del Parámetro

En los resultados de la Tabla 5.7 se observa que el contenido de materia orgánica en el agua, permanece casi constante, entre influente y efluentes, presentando en la generalidad de las determinaciones ligera disminución con excepción del tercer riego, donde disminuye más considerablemente. Se registran también dos datos en que aumenta el carbono orgánico total, (en el 4o. y 6o. riegos), aunque de forma no muy significativa.

Los promedios de concentración de COT en los efluentes de los tres modelos son casi iguales, siendo un poco mayor en el modelo B, luego el A y por último el C.

TABLA 5.7 CONCENTRACION DE COF en (mg/lb)

	1er. riego	2o. riego	3er. riego ^a	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{x}
DEFUENTE										
T _p Aln.	227.4	135.2	195.2	63.3	83.59	110.87	148	109.6	139.8	134.77
ESTUENTES										
M	158.5	128.3	42.53	69.6	79.1	110.87	88.5	-	120.6	99.75
X	165.2	128.3	44.07	-	65.1	-	-	98.53	-	100.28
Y	144.8	121.4	42.84	62.7	68.76	114.54	104	-	126.2	98.15

^a A partir de esta fecha, los riegos para el modelo B se hicieron semanales

A continuación se presenta la Tabla 5.8 con el porcentaje de remoción de los tres modelos, y el promedio de todos los riegos.

El promedio de remoción de los 3 modelos, se encuentra entre el 20 y 30%, aunque estos valores se ven muy afectados por cantidades extremas, alejadas de la generalidad, como son los datos del tercer riego.

El mayor porcentaje de remoción promedio, lo presenta el modelo B, el modelo A y C presentan la misma tendencia respecto al carbono orgánico.

TABLA 5.8 POR CIENTO DE REMOCION DE COT

	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{x}
MODELO										
W	30.30	5.10	78.21	9.95*	5.37	0.0	40.20	-	13.73	20.37
X	27.35	5.10	77.42	-	21.07	-	-	10.10	-	28.37
Y	36.2	10.21	78.05	0.95	17.74	1.31*	29.73	-	9.73	22.43

* A partir de esta fecha, los riegos para el modelo B se hicieron mensuales

* Porcentaje de aumento de COT

5.1.1.5 Parámetro pH

Comportamiento del parámetro

La Tabla 5.9 nos muestra que el pH del agua no es muy afectado al hacerse pasar por el suelo. En casi todas las determinaciones, disminuye ligeramente.

El promedio de todos los riegos indica una disminución mayor del pH para el modelo B, siendo ligeramente menor la del C y por último el modelo A.

TABLA 5-9 VALORES DE pH REGISTRADOS

	1er. riego	2o. riego	3er. riego	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	\bar{X}
DOTIADITE										
T _p ala.	7	9	7.9	7.96	8.4	7.01	7.2	7.9	7.1	7.72
EFUJANTES										
M	7	7.2	7.6	7.85	7.3	7	6.1	-	7.6	7.46
X	6	7.2	7.2	-	7.1	-	-	7.3	-	6.96
Y	6	7.1	7.2	7.22	7.2	6.9	7.2	-	7.0	6.98

● A partir de esta fecha, los riegos se hicieron semanales.

En seguida se presenta la Tabla 5.10 con el porcentaje de variación de pH. En todos los casos excepto en dos, se refiere a disminución.

Como se puede observar el promedio de variaciones es muy pequeño: abajo del 15%.

El modelo A muestra el promedio de variación más bajo 2.36%, después el modelo C y por último el B.

TABLA 5-10 POR CIENTO DE VARIACION DE pH

	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
MODELO										
A	0	20	3.78	1.38	13.09	0.14	12.5*	-	7.04*	2.36
B	14.28	20	8.66	-	15.48	-	-	7.59	-	13.24
C	14.28	21.1	8.66	9.30	14.29	1.57	0.0	-	1.41	8.85

* A partir de esta fecha, los riegos para el modelo B se hicieron mensuales

* Por ciento de aumento

5.1.2 En el perfil estratigráfico

En esta sección se presentan tablas con los datos de concentración de cada parámetro evaluado para cada nivel de los distintos modelos antes y después de todos los riegos. Al final de cada tabla se reporta la media. De esta manera podemos analizar el comportamiento de los parámetros en los diferentes estratos del suelo.

Se presentan también gráficas que reportan la concentración de cada parámetro (excepto pH), con respecto a los riegos, para el nivel superficial de cada modelo. En ellas podemos comparar los resultados obtenidos antes y después de los riegos.

Los parámetros evaluados son:

- Nitrogeno Amoniacal
- Nitratos
- Nitrogeno Total Kjeldhal
- Porcentaje de Materia Orgánica
- pH

Adicionalmente, se determinaron las concentraciones de fósforo y potasio para las condiciones iniciales, intermedias y finales.

5.1.2.1 Comportamiento del nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$)

Las Tablas 5.11 y 5.12 muestran las concentraciones de nitrógeno amoniacal determinadas en todos los modelos, antes y después del riego respectivamente.

Analizando los resultados en el modelo A, observamos que en casi todas las determinaciones, la concentración de nitrógeno amoniacal, aumenta en todos los estratos después de los riegos y se vuelve a nivelar entre riego y riego. En la Fig 5.1 se aprecia el incremento después del riego, que se explica por la aportación de nitrógeno amoniacal, resultado del fenómeno de amonificación con el cual se contraresta la disminución esperada de éste por su transformación a nitratos.

En el modelo B se observa un comportamiento menos uniforme, ya que reporta datos de aumentos considerables de la concentración en algunos casos y fuertes disminuciones en otros, después de los riegos. El promedio de todas las observaciones indica que después de los riegos, la concentración de nitrógeno amoniacal bajó en los tres niveles. La Fig 5.2 muestra dicha disminución, la cual se explica por la transformación a nitratos (nitrificación), ya que en este modelo se favorecieron las condiciones aeróbicas, que son propicias para que se lleve a cabo dicho fenómeno de mejor manera.

TABLA 5.11 CONCENTRACION DE N-NH₃ en (mg/kg) ANTES DEL RIEGO

MODELO	(CI)									
	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
A1	94.96	76.0	43.0	168.0	50.93	**	76.4	-	61.79	81.58
A2	50.02	84.0	21.5	112.0	40.01	**	93.3	-	60.46	65.90
A3	56.02	50.9	21.5	84.0	46.68	**	84.1	-	59.18	57.48
B1	56.02	84.0	43.0	140.0 ⁺	60.02	**	-	129.2	88.23	76.74
B2	84.00	50.9	40.0	168.0 ⁺	46.68	**	-	163.5	61.79	74.88
B3	50.93	56.0	83.0	168.0 ⁺	46.68	**	-	126.4	62.25	70.88
C1	99.4	84.0	84.8	84.0	50.93	**	92.62	-	86.86	83.23
C2	62.6	84.0	59.0	93.0	19.45	**	74.37	-	96.59	69.86
C3	35.8	56.0	64.0	112.0	19.45	**	78.91	-	58.38	60.65

** Valores no determinados

* A partir de éste, en el modelo B los riegos se hicieron mensualmente.

+ Valores no considerados para calcular la media, ya que al no tenerse los respectivos datos después del riego, no son comparativos.

CI Condiciones Iniciales.

TABLA 5.12 CONCENTRACION DE N-NH₃ (mg/kg) DESPUES DEL RIEGO

MODELO	1er. riego 2o. riego 3er. riego* 4o. riego 5o. riego 6o. riego 7o. riego 8o. riego 9o. riego										\bar{X}
	(CF)										
A1	112	84	14	56	70.83	126.37 ⁺	138.9	-	44.11	74.26	
A2	76	168	28	50.9	70.03	57.56 ⁺	99.3	-	62.25	79.21	
A3	76	84	42	56	65.65	83.0 ⁺	107.7	-	53.19	69.22	
B1	76	56	28	-	86.19	-	-	88.23	60.02	65.74	
B2	84	56	56	-	66.17	-	-	61.79	38.9	60.48	
B3	50.9	56	70	-	66.17	-	-	62.65	40	57.62	
C1	101	56	70	73	89.03	104.52 ⁺	66.17	-	41.19	70.91	
C2	76	56	42	43	83.62	60.02 ⁺	76.22	-	59.6	62.34	
C3	46.6	50.9	42	45	67.23	53.87 ⁺	86.8	-	60.02	56.93	

* A partir de éste, los riegos se hicieron mensualmente para el modelo B

+ Valores no considerados para calcular la media ya que al no tenerse los respectivos datos antes del riego, no son comparativos.

CF Condiciones Finales,

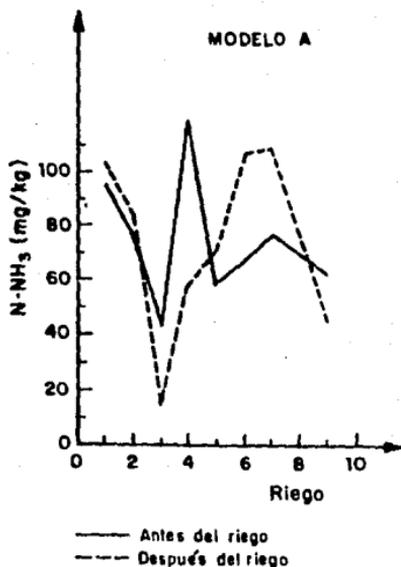


Fig 5.1 Comportamiento del nitrógeno amoniacal en la capa superficial (0-30 cm). Modelo A.

La tendencia general del modelo C es similar al anterior. La Fig 5.3 muestra la disminución de nitrógeno amoniacal, que en este caso se explica por su transformación total a nitrógeno gaseoso, que se efectúa bajo condiciones anaerobias. Estas favorecen por una humedad excesiva, como es el caso de este modelo, que permaneció a régimen de riego continuo.

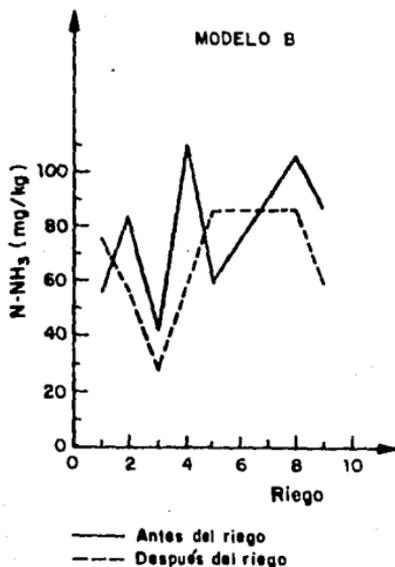


Fig 5.2 Comportamiento del nitrógeno amoniacal en la capa superficial (0-30 cm). Modelo B

En los tres modelos la concentración de $N-NH_3$ en promedio, fué mayor en el nivel superior y decreciente con la profundidad del suelo.

Esto se observa tanto antes como después de los riegos. Esto es congruente con la teoría, respecto a la función e importancia de la primera capa de suelo, en la transformación del nitrógeno.

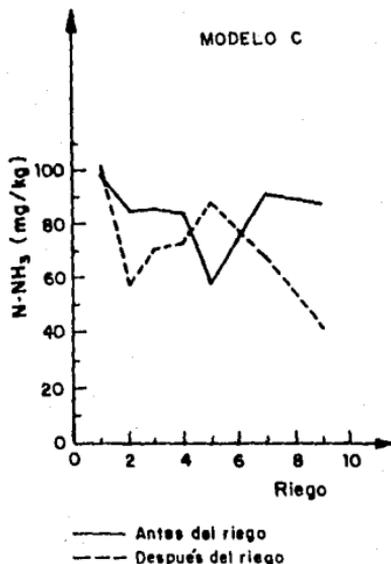


Fig 5.3 Comportamiento del nitrógeno amoniacal en la capa superficial (0-30 cm). Modelo C

5.1.2.2 Comportamiento del nitrógeno de nitratos ($N-NO_3$)

Las Tablas 5.13 y 5.14 muestran los resultados del parámetro. En el modelo A son poco uniformes; en algunos casos aumenta y en algunos disminuye después del riego. Por esta razón, los promedios tal vez no sean muy representativos del comportamiento general del parámetro, sin embargo nos dan una idea de la tendencia central. Para el nivel superior el promedio aumenta

ta ligeramente y en los otros dos disminuye después del riego.

La Fig 5.4 muestra dicha variación del nivel superficial debido al proceso de nitrificación, cuyo producto final son los nitratos.

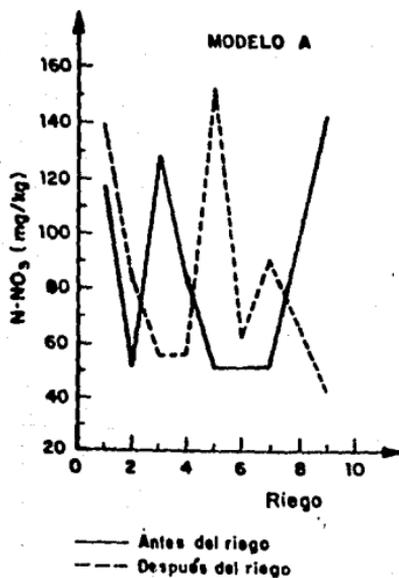


Fig 5.4 Comportamiento del nitrógeno de nitratos en la capa superficial (0-30 cm). Modelo A

TABLA 5.13 CONCENTRACION DE N-NO₃ (mg/kg) ANTES DEL RIEGO

MODELO	(CI)									
	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
A1	118	50.9	128.3	84	50.9	**	50.93	-	144.18	89.60
A2	150	56	186.7	75	20.0	**	44.82	-	80.61	87.59
A3	118	50.9	41.19	84	23.34	**	56.82	-	59.18	61.92
B1	112	84	42.7	110 ⁺	40.01	-	-	64.6	66.17	68.25
B2	139	76	39.45	119 ⁺	23.34	-	-	81.7	61.79	70.21
B3	102	56	41.5	84 ⁺	21.88	-	-	63.1	41.50	54.33
C1	115	84	106.1	56	**	**	69.45	-	65.14	82.61
C2	142	84	78.9	46.6	**	**	0.0	-	57.95	68.24
C3	95	84	86.1	22.4	**	**	78.91	-	38.90	67.55

** Valores no determinados.

* A partir de éste, los riegos se hicieron manualmente para el modelo B

+ Valores no considerados en el cálculo de la media ya que al no tenerse los respectivos datos después del riego no son comparativos

CI Condiciones Iniciales.

TABLA 5.14 CONCENTRACION DE N-NO₃ (mg/kg) DESPUES DEL RIEGO

MODELO	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	(CT)	X
A1	140	84	56	56	186	63.18 ⁺	92.6	-	44.11		94.09
A2	101	84	28	50.9	96.37	57.56 ⁺	59.6	-	41.5		65.91
A3	76	56	28	56	65.6	62.25 ⁺	64.6	-	35.4		54.51
B1	101	112	56	-	84.4	-	-	66.17	20		73.26
B2	84	56	56	-	66.7	-	-	61.79	38.9		60.56
B3	50.9	56	56	-	66.17	-	-	41.50	40		51.76
C1	101	280	56	73	80.03 ⁺	83.62 ⁺	66.17	-	41.19		102.89
C2	50.9	224	42	43	125.4 ⁺	40.01 ⁺	57.17	-	39.73		76.43
C3	46.6	101	42	45	89.64 ⁺	35.91 ⁺	43.43	-	40.01		53.00

* A partir de este riego, se hicieron mensualmente para el modelo B.

+ Valores no considerados para el cálculo de la media ya que al no tenerse los respectivos datos antes del riego no son comparativos

CF Condiciones Finales

Los datos en el modelo B también son poco uniformes, sin embargo, las medias indican aumento en la concentración de nitratos después del riego en el nivel superficial, y disminución en los restantes. La Fig 5.5 muestra dicho comportamiento.

Las medias en el modelo C, reportan un aumento en los 2 niveles superiores después del riego, sin embargo, al analizar la Fig 5.6 que para el estrato superficial muestra casi exclusivamente disminuciones, concluimos que los valores de la media se

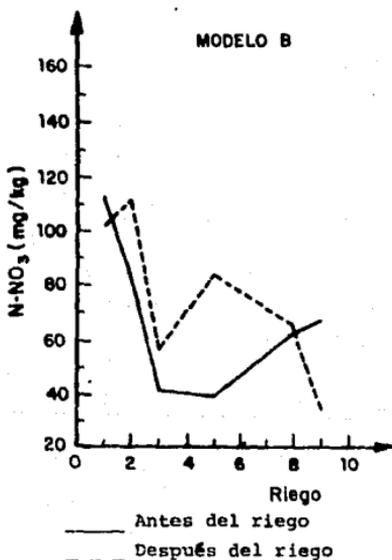


Fig 5.5 Comportamiento del nitrógeno de nitratos en la capa superficial (0-30 cm). Modelo B

ven afectados por datos extremos, en los pocos casos de aumento. Estos resultados coinciden con el análisis efectuado para la Fig 5.3 en el cual se explica que en las condiciones de este modelo, el nitrógeno amoniacal se transforma totalmente a nitrógeno gaseoso.

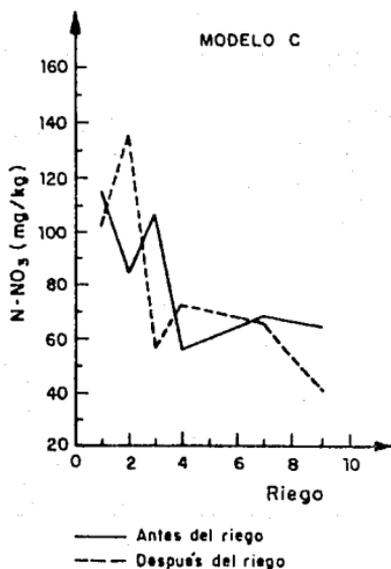


Fig 5.6 Comportamiento del nitrógeno de nitratos en la capa superficial (0-30 cm). Modelo C

Los resultados de los tres modelos coinciden con los del agua.

5.1.2.3 Comportamiento del nitrógeno total kjeldhal (NTK)

Comparando las medias de los resultados antes y después de los riegos (ver Tablas 5.15 y 5.16), notamos que no varían considerablemente.

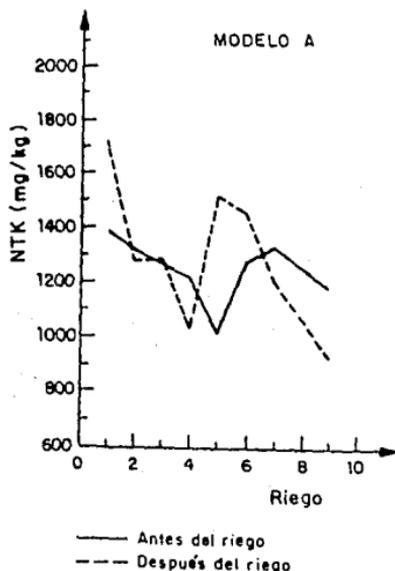


Fig 5.7 Comportamiento del nitrógeno total Kjeldhal en la capa superficial (0-30 cm). Modelo A

En el modelo A, la media aumenta ligeramente en los tres niveles, después del riego. La Fig 5.7, sin embargo, muestra que en la mayor parte de las determinaciones, la concentración de nitrógeno total disminuye después del riego. Esto se explica porque los microorganismos presentes en el suelo, consumen nitrógeno rápidamente para su síntesis y multiplicación.

TABLA 5.15 CONCENTRACION DE NTK (mg/kg) ANTES DEL RIEGO

MODELO	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
A1	1394.2	1316.6	1274.6	1218	1023.5	1296.3	1316.5	-	1190.8	1256.31
A2	1428.6	0.0	1298.8	933.7	649.9	1016.7	1069.2	-	1002.2	924.89
A3	386.8	854	672.3	707	581.8	912.06	908.8	-	812.9	729.46
B1	1534	1400	1333.9	1526.7 ⁺	1109.3	-	-	1243.7	-	1324.18
B2	186.7	1246	1196.9	1078.5 ⁺	948.1	-	-	664.7	-	848.40
B3	322.1	784	666.9	1000	560	-	-	1216.9	-	709.98
C1	1638.7	1106.5	1200.5	1566.2	70	1133.3	1422.2	-	1353.9	1186.41
C2	1358.64	1108.5	1133.8	1247.8	70	1240.28	1596.1	-	1080.5	1100.70
C3	1442.6	623.9	707.0	712	782	676.9	930.04	-	733.6	826.01

* A partir de este riego, el modelo B se regó mensualmente.

+ Valores no considerados en el cálculo de la media, ya que al no tenerse los respectivos datos después del riego no son comparativos.

CI Condiciones Iniciales

TABLA 5.16 CONCENTRACION DE NTK (mg/kg) DESPUES DEL RIEGO

MODELO	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
A1	1710.8	1288.6	1190	1045	1526	1451.7	1203.8	-	929.9	1293.22
A2	1530.7	1246.5	616	548	1162.5	1014.65	768.1	-	777.5	957.95
A3	859.5	686.3	532	1120	644.3	1042.35	597.0	-	677.7	769.89
B1	1701.8	1162.5	1302.6	-	1596.7	-	-	1287.7	902.52	1325.64
B2	1289.2	853.7	994.4	-	1064.5	-	-	1113.7	819.6	1022.52
B3	859.5	616.2	588.2	-	518.2	-	-	959.8	567	684.82
C1	1440.6	1235.1	1512.7	1147	1165.2	1321.59	1296.6	-	953.1	1258.99
C2	1890.9	1260	1218.5	1018.6	1225.5	1169.1	1118.1	-	835.1	1216.97
C3	1229	700.3	686.3	621	767.7	748.37	741.1	-	589.7	760.43

* A partir de este riego, el modelo B se regó mensualmente

CF Condiciones Finales

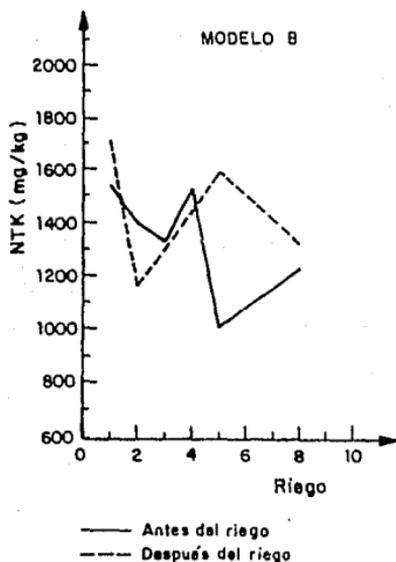


Fig 5.8 Comportamiento del nitrógeno total Kjeldhal en la capa superficial (0-30 cm). Modelo B

En el modelo B, las medias de los tres niveles, presentan comportamiento distinto. En el nivel superficial B1, la concentración de nitrógeno total permanece casi constante (aumenta ligeramente), en el nivel intermedio B2 aumenta considerablemente y en el más profundo disminuye, después del riego. En la Fig 5.8 se muestran los resultados del estrato superficial, que indican aumento en la concentración de nitrógeno después de los riegos en la mayoría de los casos. Esto se explica por el régimen mensual de riego de este modelo, ya que la materia orgánica

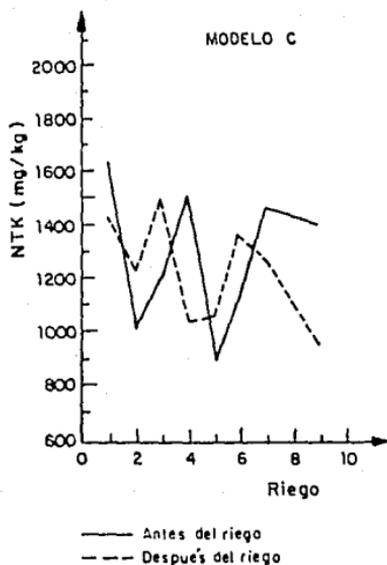


Fig 5.9 Comportamiento del nitrógeno total Kjeldhal en la capa superficial (0-30 cm). Modelo C

disminuye, así como su consumo de nitrógeno.

En el modelo C la media de los dos niveles superiores indica aumentos y en el más profundo una pequeña disminución. La Fig 5.9 muestra dichos resultados para el nivel superficial, donde la tendencia general es aumentar el nitrógeno total. En este modelo, el fenómeno se explica por el aumento considerable de materia orgánica, que implica altas concentraciones de nitrógeno orgánico.

A pesar de que los resultados no son completamente uniformes podemos decir que la tendencia general en todas las determinaciones es el aumento de nitrógeno total en el suelo, después del riego. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el análisis de agua, en que se reportan porcentajes altos de remoción de NTK en los efluentes.

5.1.2.4 Comportamiento de la concentración de materia orgánica

Analizando los resultados de las Tablas 5.17 y 5.18 observamos que en el modelo A se presenta una variación del comportamiento de este parámetro, comparado con los anteriores, ya que los distintos niveles, registran tendencias distintas. En el nivel superior A1 el porcentaje de materia orgánica disminuye después del riego en la mayoría de los casos. En el nivel intermedio A2 hay casos en los que aumenta y casos en los que disminuye; comparando los promedios observamos que permanecen casi constantes (presentan una variación de 0.03%). En el último nivel A3, la tendencia general es el aumento de materia orgánica después del riego. Los argumentos anteriores se corroboran con las medias. La Fig 5.10 presenta los resultados del estrato superficial.

TABLA 5.17 PORCIENTO DE MATERIA ORGANICA ANTES DEL RIEGO

MODELO	(C1)	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
A1	2.05	2.28	2.18	3.06	2.11	2.15	2.23	-	-	2.51	2.32
A2	1.41	1.98	2.17	1.76	1.08	1.94	1.94	-	-	1.72	1.75
A3	1.34	1.2	0.8	1.48	1.08	1.95	1.95	-	-	1.34	1.39
B1	1.86	2.1	2.68	3.1 ⁺	2.13	-	-	-	2.60	-	2.27
B2	1.99	2.0	2.0	1.94 ⁺	1.3	-	-	-	2.27	-	1.91
B3	1.02	1.44	0.93	1.7 ⁺	1.11	-	-	-	1.42	-	1.18
C1	1.99	2.28	1.81	2.7	2.16	2.17	2.92	-	-	1.79	2.23
C2	2.12	2.6	1.74	1.7	1.23	2.08	1.87	-	-	1.41	1.84
C3	1.99	1.18	0.0	1.34	0.98	1.18	1.18	-	-	1.13	1.12

* A partir de este riego, el modelo B se regó mensualmente

+ Valores no considerados en el cálculo de la media, ya que al no tener los respectivos datos después del riego no son comparativos

C1 Condiciones Iniciales

TABLA 5.18 PORCIENTO DE MATERIA ORGANICA. DESPUES DEL RIEGO

MODELO	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego	X
A1	1.93	**	2.6	2.11	1.8	2.68	2.35	-	2.24	2.24
A2	1.56	2.11	0.8	1.95	2.02	1.94	1.51	-	1.86	1.72
A3	0.89	1.35	1.66	1.03	1.12	4.3	1.30	-	1.81	2.24
B1	1.86	1.97	3.8	-	1.86	-	-	1.56	2.56	2.27
B2	1.55	2.2	4.93	-	1.57	-	-	1.68	2.12	2.34
B3	0.97	1.49	2.46	-	1.19	-	-	3.61	1.79	1.92
C1	2.1	2.3	2.06	2.58	1.76	2.86	2.16	-	2.26	2.26
C2	1.9	2.07	2.2	2.18	1.91	2.17	1.57	-	1.89	1.99
C3	1.54	1.28	1.93	1.11	1.15	1.48	1.42	-	1.53	1.43

* A partir de este riego el modelo B se regó mensualmente

** Valores no determinados

CF Condiciones Finales

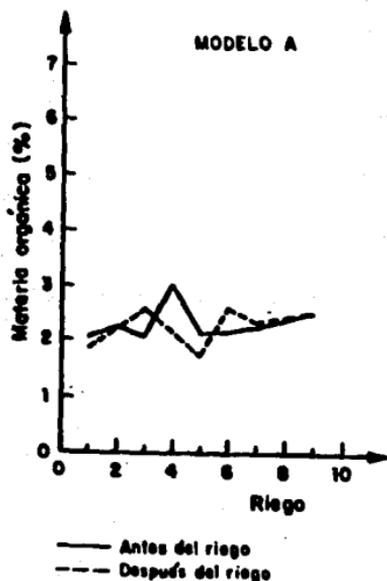


Fig 5.10 Comportamiento de la materia orgánica en la capa superficial (0-30 cm). Modelo A

El modelo B presenta un comportamiento similar al anterior aunque el fenómeno se distingue más claramente en el A. La Fig 5.11 muestra los resultados del nivel superficial en los cuales se aprecia una tendencia a disminuir la materia orgánica después del riego. Ya que el lapso de tiempo entre riego y riego es mayor, permite un incremento antes del siguiente riego.

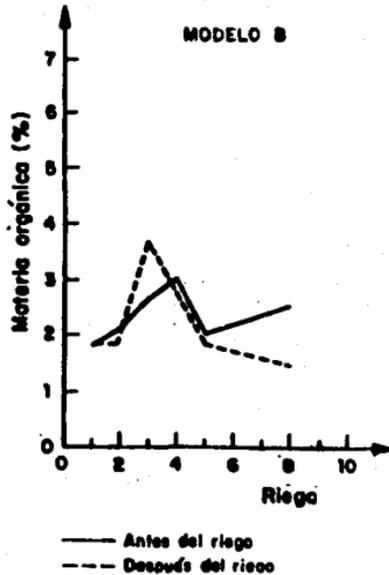


Fig 5.11 Comportamiento de la materia orgánica en la capa superficial (0-30 cm). Modelo B

Todos los valores determinados se encuentran en un rango de 7.5 a 8.9 antes del riego (ver Tabla 5.19) y después de éste entre 8.0 y 8.9 (ver Tabla 5.20)

La Fig 5.12 muestra los resultados del nivel superficial del modelo C. En la mayor parte de ellos, la materia orgánica aumenta después del riego, lo que se puede atribuir a que debi-

TABLA 5.19 PH ANTES DEL RIEGO

MODELO	(CI)										X̄
	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego		
A1	**	8.9	8.2	8.1	8.5	8.6	8.5	-	8.4	8.46	
A2	**	8.6	8.0	8.9	8.5	8.6	8.6	-	8.5	8.53	
A3	**	8.6	8.1	8.7	8.5	8.2	8.6	-	8.5	8.46	
B1	**	8.8	8.0	8.2*	8.5	-	-	8.5	-	8.45	
B2	**	8.6	8.1	8.7*	8.6	-	-	8.6	-	8.47	
B3	**	8.5	8.0	8.9*	8.4	-	-	8.5	-	8.35	
C1	**	8.6	7.7	7.8	8.2	8.4	7.5	-	8.1	8.04	
C2	**	8.6	7.8	8.9	8.3	8.4	8.1	-	8.3	8.34	
C3	**	8.5	7.6	8.5	8.2	8.4	8.2	-	8.3	8.24	

** Valores no determinados

* A partir de este riego el modelo B se regó mensualmente

+ Valores no considerados en el cálculo de la media, ya que al no tener los datos respectivos después del riego, no son comparativos

CI Condiciones Iniciales

TABLA 5.20 PH DESPUES DEL RIEGO

NOVELA	PH DESPUES DEL RIEGO (CF)										\bar{X}
	1er. riego	2o. riego	3er. riego*	4o. riego	5o. riego	6o. riego	7o. riego	8o. riego	9o. riego		
A1	8.7 ⁺	8.1	8.1	8.7	8.3	8.6	8.7	-	8.5	8.46	
A2	8.6 ⁺	8.7	8.6	9.0	8.3	8.5	8.4	-	8.6	8.59	
A3	8.8	8.6	8.6	8.7	8.4	8.2	8.5	-	8.6	8.55	
B1	8.3 ⁺	8.3	8.2	-	8.3	-	-	8.5	8.5	8.32	
B2	8.8 ⁺	8.7	8.5	-	8.5	-	-	8.6	8.8	8.57	
B3	8.7 ⁺	8.4	8.6	-	8.3	-	-	8.5	8.9	8.45	
C1	8.9 ⁺	8.1	8.1	8.2	8.3	8.1	8.3	-	8.4	8.30	
C2	8.6 ⁺	8.5	8.6	8.6	8.1	8.4	8.3	-	8.8	8.49	
C3	8.6 ⁺	8.5	8.5	8.6	8.8	8.3	8.3	-	8.7	8.54	

* A partir de este riego, el modelo B se regó mensualmente

+ Valores no considerados en el cálculo de la media, ya que al no tener los respectivos datos antes del riego no son comparativos

CF Condiciones Finales

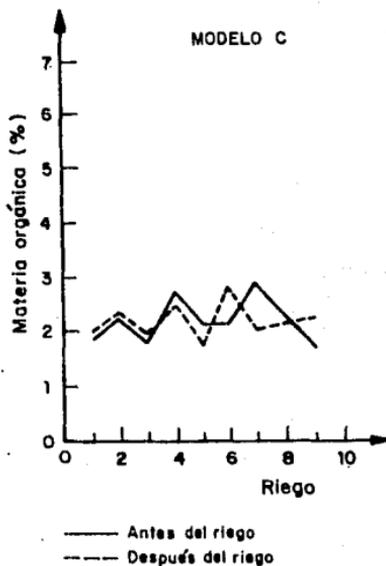


Fig 5.12 Comportamiento de la materia orgánica en la capa superficial (0-30 cm). Modelo C

do al régimen de flujo continuo con el que operó este modelo, logró una saturación.

5.1.2.5 Comportamiento del pH

A diferencia de todos los parámetros evaluados, las determinaciones de pH, resultan sumamente homogéneas. No se registran variaciones importantes entre riego y riego ni entre los

tres modelos analizados. Tampoco se puede detectar efectos del riego sobre el pH ya que para antes y después del riego los resultados son casi iguales.

5.1.2.6 Comportamiento del Fósforo

Los resultados de la Tabla 5.21 muestran un aumento en la concentración de fósforo en las condiciones finales, en todos los niveles de los tres modelos.

La mayoría de los datos de condiciones intermedias oscilan entre el valor inicial y el final, lo que indica una tendencia a aumentar la cantidad de fósforo con los riegos.

5.1.2.7 Comportamiento del Potasio

En este caso, (ver Tabla 5.22), la tendencia es inversa a la analizada en el parámetro anterior, ya que los valores de concentración finales son en general menores que en las condiciones iniciales. Los datos que no concuerdan con esta hipótesis son los de condiciones finales de los niveles B3 y C2 pero apoyándose en las condiciones intermedias, en las cuales si hay una disminución, podemos generalizar la tendencia.

TABLA 5.21 CONCENTRACION DE FOSFORO (mg/kg)

MODELO	CONDICIONES INICIALES	CONDICIONES INTERMEDIAS	CONDICIONES FINALES
A1	300	495	344
A2	340	477	432
A3	340	248	440
B1	280	535.2	352
B2	390	300	432
B3	195	259	620
C1	365	377	375
C2	260	300	475
C3	365	118	536

TABLA 5.22 CONCENTRACION DE POTASIO (mg/kg)

MODELO	CONDICIONES INICIALES	CONDICIONES INTERMEDIAS	CONDICIONES FINALES
A1	426	352	279
A2	441	221	298
A3	445	308	318
B1	430	343	333
B2	325	261	284
B3	360	285	406
C1	350	285	254
C2	302	261	347
C3	440	325	347

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1.- Cuando el suelo fué sometido a regimen de riego intermitente, su capacidad de retención fué mayor cuando la lámina de agua y el intervalo entre cada riego fueron menores, ya que se atenuó el efecto de arrastre por la presión de la carga hidráulica, efecto que se hizo evidente cuando se aplicó una lámina menor y el intervalo entre cada riego fué mas amplio.
- 2.- El contenido de nitrógeno en el suelo al ser tratado, es en general grande, por lo tanto favorece al proceso de nitrificación.
- 3.- Cuando el régimen fué de riego continuo, se presentó la saturación del suelo.
- 4.- Se tienen buenas cantidades de materia orgánica y otros nutrientes en el suelo después del riego, esto favorece al

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

incremento en el rendimiento de los cultivos, y también puede llegar al caso a la disminución del consumo de fertilizantes.

- 5.- La remoción de contaminantes químicos se realiza mediante el paso de agua por el suelo y la filtración es el principal mecanismo que rige este sistema, las cargas orgánicas de sólidos suspendidos son casi completamente removidos en este sistema.
- 6.- Si la intención es tener aguas claras a partir de aguas residuales, este sistema sí funciona.
- 7.- Según los datos obtenidos de fósforo en el suelo lo sitúan, en un suelo pobre, ya que la mayoría de los valores son menores a 10 mg/l esta disminución se puede atribuir a la precipitación de fosfatos.

RECOMENDACIONES

- 1.- Si el objetivo es el aprovechamiento de las aguas residuales para el riego, estas deberán someterse a un pretratamiento, como por ejemplo una sedimentación adecuada.
- 2.- Si se pretende utilizar un suelo (con características semejantes al estudiado) como sistema de tratamiento de aguas residuales, su uso posterior deberá restringirse, pues se desconoce la acumulación de metales pesados, lo hacen inadecuado para aquellos usos en los que exista contacto con pastizales o áreas agrícolas.
- 3.- Como los resultados del presente estudio no son suficientes para proponer una reglamentación del uso de las aguas residuales en la agricultura, se proponen más estudios para este fin.
- 4.- En este estudio, no se tiene riesgo de contaminación de suelos, ya que el agua residual que se utiliza es de Ciudad

Universitaria, y es bajo el contenido de compuestos químicos nocivos hay que tener cuidado cuando se desconoce su procedencia o bien proviene de zonas industriales.

- 5.- Es de suma importancia el conocimiento de microorganismos patógenos presentes en el agua de riego.
- 6.- Para lugares donde la escases de agua existe se recomienda un tratamiento primario, filtración, sedimentación, antes de hacer uso de ella y llevar a cabo un análisis de principales contaminantes durante periodos no muy largos.
- 7.- En suelos pobres por bajo contenido de fósforo es necesario aumentar la concentración de fósforo con algún fertilizante, ya que estimula a la pronta formación de las raíces y su crecimiento así como el aceleramiento de maduración.

7.0 BIBLIOGRAFIA

- APHA-AWWA-WPCF (1980). Standard methods for the examination of water and water waste
- Aspectos sanitarios de la utilización de las aguas residuales y excretos en la agricultura (1985) Publicado por el Centro Internacional de Referencia para la Disposición de Residuos (CIRDR). Dubendorf Suiza.
- Banco de México (FIRA (1985) Serie: Agricultura riego y drenaje. Vol 1 Subdirección Técnica y Evaluación de Proyectos y Asistencia. División de Agricultura. México.
- Barth, E. F.; Brenner, B. C. and Lewis, R. F. (1968) Chemical biological control of nitrogen and phosphorus in waste water effluent. Journal W. P. C. F. 40:(12)
- Baxter, K. M. (1985) The effects on ground water quality of the introduction of secondary sewage treatment to an effluent recharge site on the chalk of southern England. Journal of Agdrology. 77:333-359.
- Bodman, G. B. y Colman, E. A. (1944) Condiciones de humedad y energía durante la entrada del agua en suelos. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 8:116-122.
- D'Ityi, F. M.; Smith, T. P.; Bonwer, H. and Meyers, E. A. (1981) Desig seminar for land treatment of municipal wastewater effluents. An Overview of four Selected Facilities that Apply Municipal Wastewater to land. Prepared for the Environmental Protection Agency.
- Rudolfs, W.; Falk, L. L. and Ragotzkie, A. (1951). Contamination of vegetables grown in polluted Soil. II. Field and Laboratory Studies on Endamoeba Cysts. Journal Series Agricultural Experiment Station. New Jersey, 23:(4)
- Secretaría General de Obras (1986) Operación y mantenimiento preventivo de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- Sorber, C. A. (1982) Public healt aspect of agricultural reense application of waste water. Municipal Waste Water. Rense News, 57: June.

- Tejada González, C. (1985) Uso de las aguas residuales en riego agrícola, en zonas con escasa disponibilidad de agua. Tesis Maestría UNAM. DEPFI.
- Departamento de Agricultura de E.U.A. (1963) Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos. Manual de Agricultura. Richards, L. A. (Ed.) 60: 2a. ed.
- Higgins, T. E. (1980) Groundwater recharge with waste water heavy metal movement. Proceedings. Water Rense Symposium. 3:
- Jackson, M. L. (1982) Analisis quimicos de suelos. Ediciones Omega 4a. edición. Barcelona.
- Orta-Ledesma, M. T. (1985) Criterios para el aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola en México. Tesis Maestría UNAM. DEPFI.
- Prost, A. (1987) Health risks stemming from waste water rentilization, In Water Quality Bulletin. 12:(2) Canada.
- Reynolds, J. H. (1978) Land application. Journal WPCF 50(6): 1166-1160
- White, M. C. and Chaney, R. L. (1986). Zinc, cadmium, manganese, uptake by soybean from two zinc and cadmium-amended coastal plain Soil. Soil Sci, Soc. of Am. Journal. 44(2):308.

ISKANDER, et al., 1980

SORBER, 1982

BOWER, 1976

SARH, 1982

EPA, 1976

SARH, 1982

D' ITRI, F. 1981

BARTH, F. 1978

D' ITRI, F. 1981

BAXTER, K. M. 1985

TEJADA, ORTA, 1985

Mc PERSON, 1979

WHITE Y CHANEY, 1980

HIGGINS, 1980

LUND, 1976

REYNOLDS, J. 1978